

(10) **LT 6112 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

- (11) Patent numeris: **6112** (51) Int. Cl. (2014.01): **G01N 21/00**
G01J 3/00
- (21) Paraiškos numeris: **2013 053**
- (22) Paraiškos padavimo data: **2013 05 24**
- (41) Paraiškos paskelbimo data: **2014 11 25**
- (45) Patent paskelbimo data: **2015 01 26**
- (62) Paraiškos, iš kurios dokumentas išskirtas, numeris: —
- (86) Tarptautinės paraiškos numeris: —
- (86) Tarptautinės paraiškos padavimo data: —
- (85) Nacionalinio PCT lygio procedūros pradžios data: —
- (30) Prioritetas: —
- (72) Išradėjas:
Evaldas PABRĖŽA, LT
Gediminas RAČIUKAITIS, LT
- (73) Patent savininkas:
Integrated Optics, UAB, Saulėtekio al. 15, LT-10224 Vilnius, LT
Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Fizinių ir technologijos mokslų centras,
Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, LT
- (74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
Lina MEŠKAUSKIENĖ, Advokatų kontora Meškauskienė ir Tuzovaitė, A.
Mickevičiaus g. 6/Karaimų g. 1, LT-08119 Vilnius, LT

(54) Pavadinimas:
Paviršiumi aktyvuotos Ramano sklaidos (PARS) jutiklis ir jo gamybos būdas

(57) Referatas:

Plazmoninis jutiklis, turintis bent padėklą (1), lazeriu apdirbtą aktyvų paviršiaus plotą (2) minėtame padėkle ir metalo dangą ant aktyvuoto paviršiaus (2), kur lazeriu apdirbtas paviršiaus plotas yra suformuotas veikiant trumpais lazerio impulsais taip, kad nedideliame gylyje sumažėtų medžiagos klampumas ir, veikiant tam pačiam impulsui, kuriuo buvo sumažintas medžiagos klampumas, arba vėliau į medžiagą kritusiam vienam ar daugiau impulsų, būtų suformuota savaimė susidaranti, chaotiška nanostruktūra, kurios elementų matmenys mažesni nei 1 μm. Tinkamiausiu atveju, padėklo medžiaga yra amorfinė, tokia kaip silikatinis stiklas ar panašiai. Taip pat šiame išradime numatyta galimybė aktyvų jutiklio plotą (2) suformuoti ant mikroskopijoje naudojamo objekcinio arba dengiamojo stikliuko.

LT 6112 B

TECHNIKOS SRITIS

Išradimas yra susijęs su molekulinės diagnostikos sritimi ir ypač su lazeriu struktūruotais Paviršiumi Aktyvuotos Ramano Sklaidos (PARS) jutikliais. Tokie jutikliai naudojami mažų medžiagos koncentracijų aptikimui analitėje ir bežymekliam medžiagų identifikavimui.

TECHNIKOS LYGIS

Ramano sklaida - tai efektas, susijęs su neelastine fotonų sklaida, jiems sąveikaujant su medžiagą sudarančiais jonais. Paprastai Ramano sklaidos sužaditimui naudojama siauro spektro (<1 nm) lazerio spinduliuotė, o matuojami išsklaidytos šviesos spektrai su smailėmis, pasislinkusiomis į raudonąją (Stokso poslinkis) arba mėlynąją (Anti-Stokso poslinkis) spektro pusę. Parinkus tinkamas eksperimento sąlygas, pagal sklaidos spektre esančių smailių padėtį, galima atpažinti analitėje esančias medžiagas.

Paviršiumi aktyvuotos Ramano sklaidos (PARS) jutikliai yra naudojami, siekiant daugelį kartų sustiprinti paprastai labai silpną Ramano sklaidos signalą. Tokiam stiprinimui naudojami plazmoniniai reiškiniai, ypač lokalizuoti paviršiaus plazmonai. Norint sukurti sąlygas fotono sąveikai su paviršiaus plazmonais, reikia suformuoti submikroninių struktūrų masyvą ir padengti jį tauriųjų metalų, paprastai aukso arba sidabro, danga taip, kad susidarytų atskirtos šio metalo salelės. Šių struktūrų forma, dydis ir struktūrų tarpusavio išsidėstymas labiausiai lemia, kaip paviršiaus plazmonai sąveikauja su krentančios spinduliuotės ir Ramano sklaidą patyrusiais fotonais. Kuo stipresnė plazmonų ir fotonų sąveika, tuo didesnis gaunamas Ramano sklaidos stiprinimas.

PARS jutikliai gali būti naudojami molekulinėje diagnostikoje ir yra svarbūs tokioms pramonės šakoms kaip biotechnologijos, vaistų kūrimas, maisto ar dirvožemio užterštumo matavimai, kriminalistika, pasienio kontrolė ir t.t.

Plazmonas yra kvazidalelė, aprašoma kaip kvantuota laisvų elektronų plazmos tankio osciliacija. Plazmonas gali susijungti su fotonu, sudarydamas naują kvazidalelę - plazmoninį poliaritoną. Paviršiaus plazmonai - tai paviršiuje lokalizuoti plazmonai, kurie stipriai sąveikauja su į paviršių krentančia šviesos spinduliuote, sukurdami poliaritoną.

Norint sukurti paviršiaus plazmonus, sąveikaujančius su optinio diapazono šviesos spinduliuote, reikia formuoti paviršiaus struktūras, kurių matmenys būtų dešimčių ar šimtų nanometrų dydžio. Paviršiumi Aktyvuotos Ramano Sklaidos (PARS) principui įgyvendinti yra reikalinga plazmoninio rezonanso sąlyga.

Aktyviausiai plazmoniniai reiškiniai vyksta tauriųjų metalų, pvz. aukso arba sidabro paviršiuje. Tai pirmiausia susiję su dideliu laisvųjų elektronų skaičiumi šių metalų paviršiuje. Dėl šios priežasties, taip pat dėl to, kad šie metalai nesioksiduoja, jie yra dažniausiai pasirenkami PARS jutiklių gamyboje.

Kaip minėta anksčiau, PARS taikymams labai svarbi jutiklio paviršiaus struktūra. Lokalizuotų paviršiaus plazmonų atveju, mažų metalo elementų plazmoninio rezonanso sąlygos labai priklauso nuo tų metalo dalelių formos ir jų tarpusavio išdėstymo. Pastaruoju metu ypač dažnai akcentuojama tarpo tarp dviejų metalo dalelių įtaka elektromagnetinio lauko stiprinimui. Pastebėta, kad būtent šis parametras turi didžiausią įtaką bendrajam PARS stiprinimui. Visa PARS mokslo kryptis, kurioje siekiama aptikti pavienes analitės molekules, dažniausiai remiasi šiuo reiškiniu. Esant ypač mažam tarpui, sąveikauja abiejų metalo dalelių lokalizuotų paviršiaus plazmonų modos, taip sudarydamos hibridizuotas modas.

Didelį Ramano sklaidos stiprinimą turintys jutikliai dažnai gaminami pasitelkiant nanotechnologijų principus. Taip gaunami reikiamo dydžio metalo salelės ir maži tarpai tarp jų. Dėl šios priežasties ši sritis dažnai vadinama nanoplazmonika.

Kai kuriais atvejais, PARS gamybai taip pat naudojami apdirbimo lazeriu būdai. Jie yra nekontaktiniai, gamybos metu nenaudojamos jokios papildomos cheminės medžiagos, taip pat po lazerinio apdirbimo reikia labai mažai papildomo apdirbimo operacijų. Panaudojus savitvarkio nanostruktūrų susidarymo, veikiant lazeriu, režimus, gaunami gerai atsikartojantys paviršiaus struktūros raštai, kurių elementai yra mažesni, nei vienas mikrometras. Keliuose ankstesniuose patentuose nurodoma, kad trumpų impulsų lazeriu apdirbtų paviršių struktūros raštai gali tapti geru padėklų ypač didelį stiprinimą turintiems PARS jutikliams. Tokie jutikliai dažnai vadinami plazmoniniais jutikliais arba padėklais.

JAV patentas Nr. US7586601, publikuotas 2009-09-08, aprašo femtosekundiniu lazeriu nanostruktūruotus padėklus, kurie naudojami PARS jutikliams gaminti. Šie padėklai gaminami iš puslaidininkio ar metalo. Medžiagos

paviršius apdirbamas ultra-trumpais lazerio impulsais, suformuojant raibulius arba savitvarkes nanostruktūras, o vėliau ant tokio nanostruktūruoto ploto padengiama tauriųjų metalų, pvz. aukso arba sidabro, danga.

Kitame JAV patente Nr. US7864312, publikuotame 2011-01-04, aprašomas Ramano spektroskopijai skirtas padėklas, turintis metalo dangą. Padėklas yra apdirbtas trumpų impulsų lazeriu taip, kad būtų suformuota mikrono dydžio ar mažesnių paviršinių struktūrų. Ant tokio paviršiaus uždėta metalo danga yra nevientisa ir tarp metalo salelių yra metalu nepadengti tarpai.

Abu minėti patentai aprašo mažesnių nei mikrometro struktūrų formavimą trumpais arba ultra-trumpais lazerio impulsais metalo arba puslaidininkio paviršiuje. Šis procesas taip pat žinomas kaip raibulių formavimasis. Šiuose patentuose aprašyti raibuliai susidaro kai kristalinės medžiagos paviršiuje vyksta abliacija, t.y. kai medžiaga išgarinama tiesiai iš kietosios būsenos, nepereidama į lydalo fazę. Tačiau raibulius formuoti galima tik tam tikrų medžiagų paviršiuje. Dažniausiai tam naudojami metalai arba puslaidininkiai. PARS jutiklių padėklams populiariau naudoti silicij, safyrą, germanij, lydytą kvarcą ar panašias medžiagas. Formuojant raibulius, puslaidininkio arba kitos kristalinės medžiagos (safyro arba lydyto kvarco) paviršiuje, reikia vieną medžiagos paviršiaus vietą apšvitinti keliais tūkstančiais trumpų lazerio impulsų. Kuo daugiau impulsų naudojama, tuo ryškesnė gaunama raibulių struktūra, tačiau toks procesas užima daugiau laiko. Pavyzdžiui, 1 mm² paviršiaus apdirbimas pakankamai sparčiu (pvz., impulsų pasikartojimo dažnis 600 kHz) lazeriu gali užtrukti dešimtis minučių. Be to, norint toliau gilinti skiriamuosius tarpus tarp raibulių, naudojamos agresyvios rūgštys, su kuriomis reikia labai atsargiai dirbti. Tai nėra patogu ir pabrangina gamybą.

Ankstesniuose sprendimuose naudojama padėklo medžiaga taip pat yra brangi. Tai lemia didelę viso jutiklio savikainą ir sudėtingas gamybos operacijas.

IŠRADIMO ESMĖ

Pašalinant aukščiau įvardintus trūkumus, šiuo išradimu sukuriamas pigus ir greitas PARS jutiklių (Ramano sklaidą stiprinančių padėklų) gamybos būdas. Amorfinės medžiagos, geriausia silikatinio stiklo, padėklo (1) paviršius yra apdirbamas ultra-trumpų impulsų lazerio (4) spinduliuote. Naudojamas ne abliacijos, o medžiagos klampumo sumažinimo režimas, kada nuo perduotos lazerio impulso

energijos ploname padėklo medžiagos sluoksnyje sumažėja klampumas (paprastumo dėlei, toliau sakysime "medžiaga išsilydo"). Toliau išsilydžiusi medžiaga sąveikauja su krentančiais lazerio impulsais ir susidaro savitvarkės chaotiškos nanostruktūros. Daugeliu atvejų, pakanka vos kelių lazerio impulsų į vieną paviršiaus tašką, kad nanostruktūra įgautų reikiamą raštą, tinkamą PARS jutiklio aktyviajam plotui formuoti.

Šiuo būdu gaminant PARS jutiklius, patogiu kaip jutiklio padėklą naudoti mikroskopijoje naudojamus objektinius arba dengiamuosius stikliukus. Tokie stikliukai būna švariai nuvalyti ir supakuoti, todėl prieš apdirbimą lazeriu jų nereikia papildomai apdoroti.

Gamybai gali būti naudojamos įvairios optikos ir mechanikos sistemos, naudojamos kartu su trumpų impulsų, geriausia nuo 100 fs iki 100 ps, lazeriu. Formuojamų nanostruktūrų raštui turi įtakos tiek fabrikavimui naudojamos trumpų impulsų lazerio spinduliuotės bangos ilgis, tiek ir aplinka, kurioje yra laikomas padėklas apdirbimo metu. Trumpesnis bangos ilgis ir didesnio lūžio rodiklio aplinka lemia mažesnių matmenų nanostruktūros formavimąsi. Nanostruktūros elementų dydį reikėtų derinti prie Ramano sklaidos žadinimui naudojamo lazerio bangos ilgio - kuo jis trumpesnis, tuo smulkesnio struktūros rašto reikėtų siekti. Kita vertus, šiuo išradimu sukurtu būdu pagaminti PARS jutikliai pasižymi didele nanostruktūros elementų dydžio įvairove, todėl su vienu jutikliu tenkinamos geros plazmoninio rezonanso sąlygos plačiam žadinančios spinduliuotės bangos ilgių ruožui.

Po apdirbimo lazeriu, padėklai gali būti nuplaunami acetone arba distiliuotame vandenyje, pageidautina ultragarsinėje vonelėje - taip pašalinamos apdirbimo metu susidariusios šiukšlės. Vėliau ant nuvalytų padėklų užgarinama metalo danga. PARS jutikliams dažniausiai naudojamos aukso, sidabro, platinos arba vario dangos. Sidabras yra tinkamas labai plačiam žadinančios spinduliuotės spektro ruožui, o auksas arba varis yra labiau tinkami, dirbant su raudonosios spektro srities žadinimo spinduliuote.

TRUMPAS BRĖŽINIŲ FIGŪRŲ APRAŠYMAS

Norint geriau suprasti išradimą ir įvertinti jo praktinius pritaikymus, pateikiami šie aiškinamieji brėžiniai. Brėžiniai pateikiami tik kaip pavyzdžiai ir jokia būdu neriboja išradimo apimties.

Fig. 1. parodyta PARS jutiklio sandara;

Fig. 2. vaizduoja PARS jutiklio gamybos įrangos principinę schemą, kai pluoštas valdomas galvanometriniiais skeneriais;

Fig. 3. vaizduoja PARS jutiklio gamybos įrangos principinę schemą, kai bandinys yra perstumiamas po stacionariai įtvirtinta fokusavimo optika;

Fig. 4. parodytas padidintas lazeriu apdirbto paviršiaus plotas, kuriame matomos po paviršiaus išlydymo ir trumpų lazerių impulsų poveikio savaime susidariusios struktūros;

Fig. 5. pateiktas ultra-trumpų impulsų lazerio spinduliuote suformuotų nanostruktūrų pagrindu sukurto PARS jutiklio sustiprintas tiofenolio Ramano sklaidos spektras. Žadinama 633 nm spinduliuote. Grafike pavaizduoti: šalia nanostruktūruoto ploto esančios sidabro dangos Ramano sklaidos spektras (12) ir nanostruktūruoto ploto su tokio pat storio sidabro danga Ramano sklaidos spektras (13).

TINKAMIAUSI ĮGYVENDINIMO VARIANTAI

Pagrindinė šio išradimo mintis yra naudoti trumpus lazerio impulsus medžiagos paviršiaus klampumo sumažinimui ir sąveikai su plonu sumažėjusio klampumo medžiagos sluoksniu, taip sukelti savaiminį chaotiškų nanostruktūrų formavimąsi. Šiam gamybos būdui įgyvendinti, tinkamiausiu atveju, naudojama ultra-trumpų impulsų, geriausia nuo 100 fs iki 100 ps, lazerio spinduliuotė ir amorfinė padėklo (1) medžiaga.

Amorfinė kietoji medžiaga, kuri turi minkštėjimo prie tam tikros temperatūros savybę (o ne konkrečią lydymosi temperatūrą), yra vadinama stiklu. Tačiau padėkle gali būti ne tik vientisa amorfinė medžiaga - gali būti ir kristalinė medžiaga su amorfiniais intarpais arba atvirkščiai.

Tinkamiausiame įgyvendinimo variante, jutiklio padėklas yra pagamintas iš stiklo kurio pagrindinė sudedamoji dalis yra silicio dioksidas. Toks stiklas gali būti ir su šarminių žemės metalų, kitų metalų priemaišomis, pavyzdžiui, silikatinis stiklas, dar kitaip vadinamas šarminių žemės metalų (angl. soda-lime) silikatinis stiklu, švino stiklas, borosilikatinis stiklas, chalkogenidinis stiklas ir pan. Jutiklio gamybai šiame patente aprašytu būdu, svarbiausia, kad padėklo medžiaga būtų amorfinė ir pasižymėtų minkštėjimo (klampumo mažėjimo) temperatūra, o ne lydymosi

temperatūra. Viršijus minkštėjimo temperatūrą, stiklas staiga nesuskystėja, o tik pamažu ima keistis jo klampumas ir padidėja jo savitoji šiluminė talpa. Amorfinių medžiagų (stiklų) minkštėjimo temperatūra yra panašiai 1000 °C arba mažiau. Kuo mažesnė ši temperatūra, tuo žemesnis ir paviršiaus (3) pažeidimo slenkstis, vadinasi, reikia mažesnės energijos lazerio impulsų. Kita vertus, žemoje temperatūroje minkštėjanti medžiaga dažniausiai yra mažiau atspari mechaniniam poveikiui, be to mažesnio klampumo medžiagos gali būti linkusios prarasti nanostruktūros formą ir tokie jutikliai gali degraduoti - per tam tikrą laiką gali pablogėti jų stiprinimo savybės.

PARS jutiklio gamybai naudojama trumpų impulsų lazerio (4) sistema, kurioje papildomai gali būti įrengti bangos ilgio keitimo (5), optinės galios (impulso energijos) valdymo (6), pluošto išplėtimo (8) mazgai, pluošto atvedimui, tinkamiausiu atveju, naudojami veidrodžiai (7) arba šviesolaidis (nepavaizduota brėžiniuose). Apdirbant padėklo paviršių, sufokusuoto lazerio pluošto padėtis turi būti keičiama padėklo (1) atžvilgiu. Paprastai tai atliekama naudojant galvanometrinius skenerius (9) ir/arba tiksliojo postūmio stalus (11). Taip pat pluošto fokusavimui naudojami glaudžiamieji lęšiai arba daugelio lęšių objektyvai (10).

Šios srities specialistui turėtų būti akivaizdu, kad galima naudoti ir kitokius pluošto formavimo būdus, kurie pagreitintų padėklo apdirbimą, įskaitant pluošto padalijimą į kelis, sufokusuoto pluošto skerspjuvio formos ir energijos skirstinio keitimą ir kitus.

PARS jutiklio gamybos būdas apima šiuos pagrindinius žingsnius:

- I lazerio pluošto skenavimas padėklo (1) atžvilgiu;
- II lazeriu apdirbto padėklo (1) nuplovimas;
- III metalo dangos padengimas;

Trumpų impulsų lazeriu tekstūruoti padėklai gali būti dengiami metalų dangomis, iš kurių labiausiai tinkamos yra aukso, sidabro, vario, platinos dangos. Taip pat tam tikrais atvejais gali būti naudojamas aliuminis.

Tinkamiausiame įgyvendinimo variante, ant lazeriu apdirbto paviršiaus ploto (2) yra užgarinama arba kitaip užnešama storesnė nei 100 nm storio metalo danga. Pastebėta, kad kuo storesnė suformuojama danga, tuo didesnis jutiklio stiprinimas. Šios srities specialistui turėtų būti akivaizdu, kad galima naudoti bet kokio storio

metalo dangą tol, kol išlaikoma salelinė paviršiaus struktūra. Mažesnio nei 100 nm storio metalo danga taip pat pasižymės Ramano sklaidos stiprinimu, tačiau jis bus mažesnis nei storesnės dangos. Kita vertus, per daug stora danga gali panaikinti salelinę aktyviojo paviršiaus (2) struktūrą ir panaikinti metalu nepadengtus tarpelius tarp salelių. Tokio jutiklio savybės taps blogesnės. Todėl parenkant metalo dangos storį, reikia atsižvelgti į lazeriu apdirbtos paviršiaus struktūros tekstūrą.

Metalo dangą galima padengti ant viso padėklo paviršiaus (3) arba, dulkinant per kaukę, padengti tik ant jutiklio aktyviojo ploto (2). Taip pat, kitame įgyvendinimo variante, padėklas (1) su daugeliu ant paviršiaus suformuotų aktyviųjų plotelių (2), yra padengiamas metalu ir supjaustomas taip, kad atskirtuose padėklo gabalėliuose liktų bent po vieną aktyvųjį plotą. Vėliau supjaustyti jutikliai gali būti naudojami tiesiogiai Ramano sklaidos matavimo sistemose, arba priklijuojami ant kitų padėklų, pavyzdžiui mikroskopijoje naudojamų objektinių stiklelių.

Tinkama jutiklio sandara yra tokia, kad naudojama stiklo plokštelė, pavyzdžiui, mikroskopijoje naudojami objektiniai arba dengiamieji stikliukai. Padėklo paviršiuje suformuojamas vienas arba daugiau aktyvūs paviršius (2). Vėliau ant aktyviojo paviršiaus padengiama metalo danga, tinkamiausiu atveju, naudojant elektroninį, joninį, plazminį arba magnetroninį dulkinimą. Tinkamiausiu atveju, aktyvūs plotas yra suformuojamas taip, kad nesusisiektų su viso padėklo kraštu. Aktyviojo ploto ir neapdirbto padėklo paviršių drėkinimo savybės skiriasi, todėl aktyvųjį plotą suformavus taip, kad jis savo perimetru nesusisiektų su padėklo kraštais, galima geriau kontroliuoti ant aktyviojo ploto užlašintos skystos būsenos analizės pasiskirstymą.

Kitame įgyvendinimo variante, metalo padengimas atliekamas, dulkinant trumpų impulsų lazeriu. Esant pakankamai impulso energijai, metalo dulkinimui galima panaudoti ir tą patį lazerį, kuriuo apdirbamas jutiklio paviršius.

Toliau pateikiamas išradimo įgyvendinimo pavyzdys. Sekant šiuo pavyzdžiu, gaunamas labai didelį Ramano sklaidos stiprinimą turintis jutiklis. Tačiau pateikiamas pavyzdys ir jame įvardinti parametrai neturėtų riboti išradimo apimties. Šie parametrai gali būti keičiami plačiose ribose, gaunant panašius arba kitokius rezultatus, tačiau pagrindinė gamybos proceso idėja yra išlaikoma ta pati.

Pavyzdys 1

Silikatinio stiklo padėklo paviršius yra apdirbamas femtosekundinio lazerio spinduliuote. Impulso trukmė yra 300 fs, bangos ilgis 515 nm, padėklo paviršiuje, apšvitos vienu impulsu metu, sukuriamas vidutiniškai $0,032 \text{ J/cm}^2$ energijos tankis. Padėklo paviršius yra apdirbamas perstumiant padėklą taip, kad tiek fabrikavimo kryptimi, tiek statmena jai perstūmimo kryptimi lazerio impulsai persiklotų apie 70% padėklo paviršiaus plokštumoje.

Testuojant šį paviršių, 633 nm bangos ilgio lazerio spinduliuote žadinant tiofenolio medžiagą, gaunamas PARS spektras pavaizduotas Fig. 5. Čia sidabro dangos storis yra 100 nm. Apatinė linija (12) atitinka sidabro paviršiaus, esančio šalia PARS aktyviojo ploto (2), Ramano sklaidos stiprinimo spektrą, o viršutinė linija (13) atitinka lazeriu suformuotų nanostruktūrų Ramano sklaidos stiprinimo spektrą. Žadinančio lazerio galia 1 mW, integravimo laikas 100 s.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Plazmoninis jutiklis, turintis bent padėklą, lazeriu apdirbtą paviršiaus plotą minėtame padėkle ir metalo dangą, besiskiriantis tuo, kad lazeriu apdirbtas paviršiaus plotas yra pagamintas, veikiant trumpais lazerio impulsais taip, kad nedideliame gylyje sumažėtų medžiagos klampumas ir, veikiant tam pačiam impulsui, kuriuo buvo sumažintas medžiagos klampumas, arba vėliau į medžiagą kritusiam vienam ar daugiau impulsų, būtų suformuota savaime susidaranti, chaotiška nanostruktūra, kurios elementų matmenys yra mažesni nei 1 μm .

2. Jutiklis pagal 1 punktą, besiskiriantis tuo, kad jutiklio padėklo medžiaga yra amorfinė.

3. Jutiklis pagal vieną iš 1-2 punktų, besiskiriantis tuo, kad jutiklio padėklo medžiagos pereinamoji temperatūra - kurioje prasideda medžiagos minkštėjimas - yra mažesnė nei 1000 $^{\circ}\text{C}$, geriau mažesnė nei 600 $^{\circ}\text{C}$.

4. Jutiklis pagal vieną iš 1-3 punktų, besiskiriantis tuo, kad padėklo medžiaga yra stiklas, geriausia - silikatinis stiklas.

5. Jutiklis pagal 4 punktą, besiskiriantis tuo, kad padėklo medžiaga yra silikatinis stiklas arba švino stiklas arba borosilikatinis stiklas arba chalkogenidinis stiklas.

6. Jutiklis pagal vieną iš 1-5 punktų, besiskiriantis tuo, kad minėtas padėklas yra mikroskopijoje naudojamas objektinis stikliukas arba dengiamasis stikliukas.

7. Plazmoninio jutiklio gamybos būdas, apimantis bent padėklo apdirbimą trumpais lazerio impulsais ir metalo dangos padengimą ant lazeriu apdirbtos srities, besiskiriantis tuo, kad bent lazerio impulso trukmė ir energija yra parinkti taip, kad į medžiagos paviršių kritę vienas ar daugiau lazerio impulsų, perlydytų ploną medžiagos sluoksnį ir, lydalui sąveikaujant su bent vienu lazerio impulsu, susiformuotų chaotiškos savaime susidaranti nanostruktūros, kurių matmenys mažesni už 1 mikrometrą.

8. Būdas pagal 7 punktą, besiskiriantis tuo, kad lazerio impulso trukmė yra nuo 100 fs iki 100 ps.

9. Būdas pagal vieną iš 7-8 punktų, besiskiriantis tuo, kad impulso energija yra parinkta taip, kad padėklo paviršiui tenkantis lazerio energijos tankis šiek tiek

viršytų padėklo paviršiaus abliacijos slenkstį.

10. Būdas pagal 9 punktą, besiskiriantis tuo, kad apdirbamam padėklo paviršiui tenka vidutiniškai nuo 0,01 iki 0,05 J/cm² vieno lazerio impulso energijos tankis.

11. Būdas pagal vieną iš 7-10 punktų, besiskiriantis tuo, kad norimų matmenų nanostruktūra formuojama, parenkant skirtingą bangos ilgį ir/arba naudojant skirtingą paviršiaus apdirbimo aplinką, kur trumpesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotė ir/arba didesnio lūžio rodiklio apdirbimo aplinka sąlygoja mažesnių matmenų nanostruktūros susidarymą, o ilgesnio bangos ilgio ir/arba didesnio lūžio rodiklio apdirbimo aplinka sąlygoja didesnių matmenų nanostruktūros susidarymą.

12. Būdas pagal vieną iš 7-11 punktų, besiskiriantis tuo, kad metalo danga yra padengiama lazerinio dulkinimo būdu, kur dulkinimui naudojama to paties lazerio spinduliuotė, kuria formuojama ir nanostruktūra padėklo (1) paviršiuje.

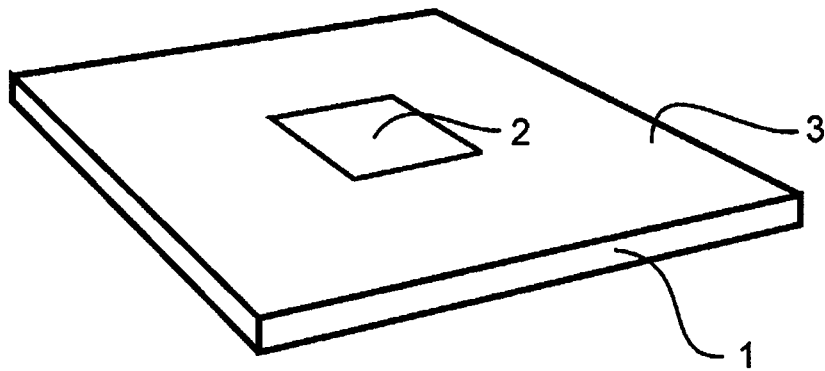


Fig. 1

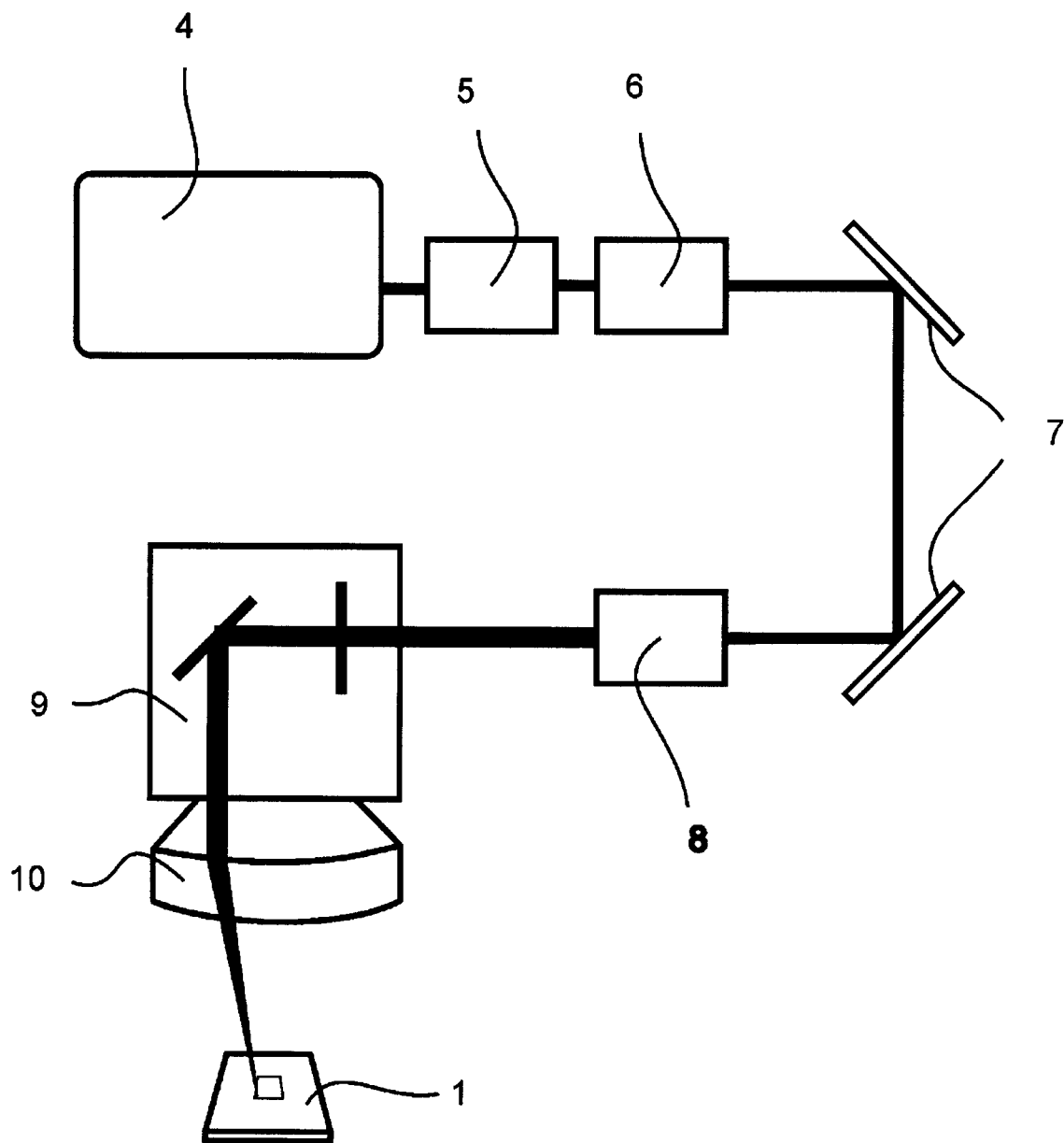


Fig. 2

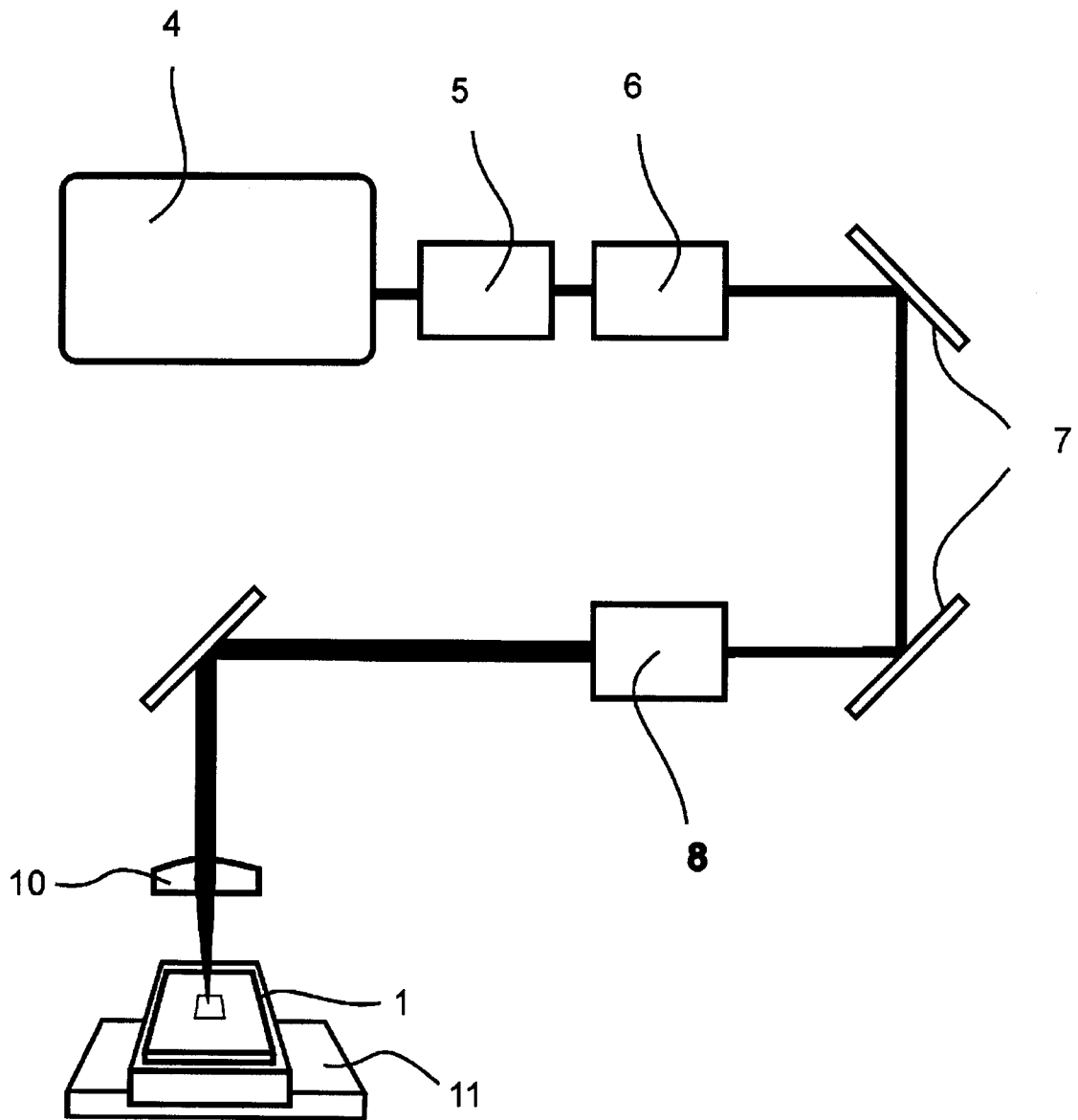


Fig. 3

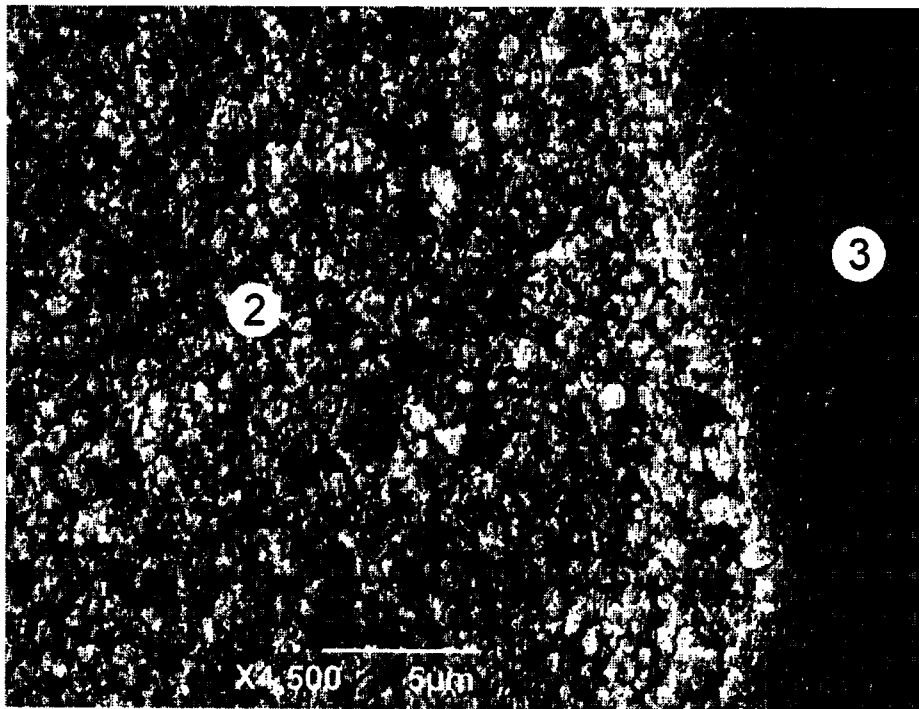


Fig. 4

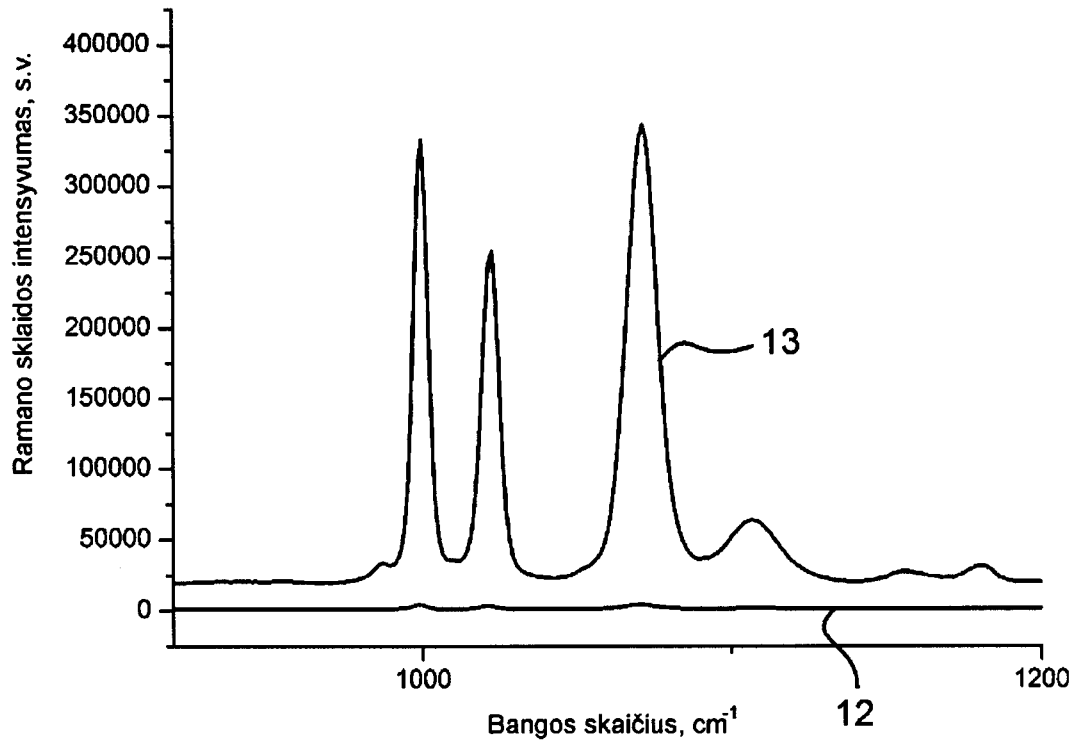


Fig. 5